

# レール鋼の耐摩耗性および耐ころがり接触疲労損傷性向上に関する研究

著者	上田 正治
発行年	2020-03-25
学位授与番号	17104甲工第487号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00007762">http://hdl.handle.net/10228/00007762</a>

氏 名	上 田 正 治
学位の種類	博 士（工学）
学位記番号	工博甲第487号
学位授与の日付	令和2年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	レール鋼の耐摩耗性および耐ころがり接触疲労損傷性向上に関する研究
論文審査委員	主 査 教 授 松 田 健 次
	〃 野 田 尚 昭
	〃 秋 山 哲 也
	准教授 山 口 富 子

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

鉄道は、定時性や安全性、その優れた輸送効率から、人の移動や物資輸送の手段として主要な地位を占めている。近年、経済発展や資源開発にともない、輸送の効率化が求められており、特に、北米や豪州等の海外の貨物鉄道では、高積載化により、輪重（車輪に作用する重量）が大幅に増加している。このような軌道環境の変化にともなうレールの使用環境の苛酷化は、摩耗やき裂等のころがり接触面の損傷の増加をもたらすために、レール耐久性の向上が強く望まれていた。

耐摩耗性や耐ころがり接触疲労損傷性の向上に対して、これまではパーライト鋼（0.8 mass% C）の高硬度化が最も有効な手段と考えられており、高強度レール（硬さ：390 HV）が使用されていた。しかしながら、使用環境の過酷化にともない損傷が増加している状況においても、新たな技術的な改善検討は行われていなかった。そこで、本研究では、高硬度化に代わる方法として、高炭素化（炭化物の体積分率の増加）に着目している。まず、基礎検討として金属組織と摩耗の関係を明らかにし、この結果に基づきパーライト鋼の高炭素化を検討し、実験および数値解析を通じて、耐摩耗性、耐ころがり接触疲労損傷性向上の検証および機構解明を行っている。

本論文は、全6章で構成されている。

第1章は序論であり、鉄道の分類と使用環境を述べるとともに、レールに要求される諸特性と課題、鉄道用レールの変遷を説明している。さらに、レール鋼の摩耗やころがり接触疲労損傷に関する従来の研究を紹介し、本論文の目的を明らかにしている。

第2章では、レール鋼の耐摩耗性を向上させるための基礎検討として、共析炭素成分（0.8 mass% C）のパーライト鋼、焼戻しマルテンサイト鋼、また、過共析炭素成分（1.2 mass% C）の球状化炭化物鋼、初析セメンタイト鋼（初析セメンタイト組織を含むパーライト鋼）を用いて、ころがり接触摩耗試験を行い、高炭素鋼の組織と摩耗の関係を調査

するとともに、摩耗機構について考察している。その結果、高炭素鋼の摩耗特性は組織形態に大きく影響され、ころがり接触面の硬さが高く、均一に塑性変形するラメラ構造（フェライト相，セメンタイト相の層状構造）のパーライト鋼は、凝着摩耗や疲労摩耗が抑制され、耐摩耗性が向上することを明らかにしている。

第3章では、レール鋼の耐摩耗性を向上させるため、硬質な炭化物の利用を検討している。耐摩耗性の高いパーライト鋼のセメンタイト相の体積分率の増加，すなわち，パーライト鋼の高炭素化（0.9, 1.0 mass% C）を提案し、摩耗特性を実験室的に検討している。従来のパーライト鋼（0.8 mass% C）と比較して、高炭素化により転位強化，結晶粒細粒強化，固溶強化が促進され，ころがり接触面の硬さが増加することによって，耐摩耗性が向上することを明らかにし，耐摩耗性の向上機構を提示している。

第4章では，耐摩耗性に優れた高炭素パーライト鋼（1.0 mass% C）の耐ころがり接触疲労損傷性を検討している。海外の貨物鉄道における使用環境を再現する試験条件において，高炭素パーライト鋼（1.0 mass% C）は，従来のパーライト鋼（0.8 mass% C）と比較して，耐ころがり接触疲労損傷性が向上することを明らかにしている。さらに，接触力学や破壊力学を用いた考察により，ころがり接触面直下の硬さの増加により，ころがり接触面直下の塑性流動が抑制され，耐ころがり接触疲労損傷性が向上する機構を提示している。

第5章では，耐摩耗性，耐ころがり接触疲労損傷性に優れた過共析パーライト鋼（0.9, 1.0 mass% C）レールの試作，実用化状況を示している。すなわち，試作したレール（硬さ：390～420 HB）の機械的性質や溶接特性を評価している。さらに，北米の貨物鉄道で試験敷設を行い，実軌道において耐摩耗性，耐ころがり接触疲労損傷性が向上することを実証している。

第6章は総括である。本研究の成果を要約するとともに，今後の展望について言及している。

## 学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

以上のように本論文は、レール鋼の耐摩耗性に及ぼす金属組織および炭素量の影響を明らかにすることにより，パーライト鋼の高炭素化が耐久性向上に有効であることを見出した価値ある研究である。さらに，同技術に基づき過共析パーライト鋼レールを開発し，実験ならびに実軌道において，耐摩耗性や耐ころがり接触疲労損傷性が向上することを実証しており，社会的貢献は極めて大きい。

また，本論文に関する論文調査会および公聴会における出席者から，パーライト鋼の強化機構や，開発レールの国内鉄道での有効性等，多くの質問がなされたが，いずれも著者による的確な回答がなされ，質問者の理解が得られた。

以上により，論文調査及び最終試験の結果に基づき，審査委員会において慎重に審査した結果，本論文が，博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。